



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 J 4/04

(87) EP 0 477 009 B1

(10) DE 691 05 893 T2

DE 691 05 893 T2

- (21) Deutsches Aktenzeichen: 691 05 893.8
- (86) Europäisches Aktenzeichen: 91 308 543.7
- (86) Europäischer Anmeldetag: 19. 9. 91
- (87) Erstveröffentlichung durch das EPA: 25. 3. 92
- (87) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 14. 12. 94
- (47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 13. 7. 95

(30) Unionspriorität: (32) (33) (31)  
20.09.90 JP 251317/90

(73) Patentinhaber:  
Hamamatsu Photonics K.K., Hamamatsu, Shizuoka,  
JP

(74) Vertreter:  
Grünecker und Kollegen, 80538 München

(84) Benannte Vertragstaaten:  
DE, FR, GB

(72) Erfinder:  
Hirano, Isuke, c/o Hamamatsu Photonics K.K.,  
Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken, JP; Takahashi,  
Hironori, c/o Hamamatsu Photonics K.K.,  
Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken, JP; Urakami,  
Tsuneyuki, c/o Hamamatsu Photonics K.K.,  
Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken, JP; Tsuchiya,  
Yutaka, c/o Hamamatsu Photonics K.K.,  
Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken, JP; Takemori,  
Tamiki, c/o Hamamatsu Photonics K.K.,  
Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken, JP; Aoshima,  
Shinichiro, c/o Hamamatsu Photonics K.K.,  
Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken, JP

(54) Vorrichtung zur Messung der Polarisation.

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 691 05 893 T2

EP 91308543.7

HAMAMATSU PHOTONICS K. K.

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Messung von polarisiertem Licht und eine Phasenplatte-Meßvorrichtung, wobei beide Young Interferometer verwenden.

Es gibt eine herkömmliche Meßvorrichtung für polarisiertes Licht, in der der Polarisationszustand des Lichts erfaßt wird, indem die Intensität des Lichts nach dem Durchlaufen durch einen einzelnen, drehbaren Polarisator gemessen wird.

Bei einer anderen Art Vorrichtung wird, die eine Hochgeschwindigkeits Lichterfassungseinrichtung, wie eine Streifenkamera, verwendet, ist ebenfalls ein drehbarer Polarisator vor dem Hochgeschwindigkeitslichtdetektor entfernbare vorgesehen. Bei dieser Art Vorrichtung wird zuerst eine vorübergehende Lichtwellenform ohne Verwenden des Polarisators gemessen, und erneut mit angebrachtem Polarisator gemessen, und der Unterschied zwischen den zwei Wellenformen liefert eine Information über den Polarisationszustand des sich in Messung befindenden Lichts.

Jedoch sind diese bisherigen Vorrichtungen dahingehend nachteilig, daß der Polarisator bewegbar sein muß und tatsächlich bewegt wird, und daß keine ausreichende Information in dem Fall von zirkular polarisiertem Licht und elliptisch polarisiertem Licht erhalten werden kann. Genauer gesagt kann die Zirkularpolarisation nicht von der zufälligen Polarisierung unterschieden werden, und es wird keine Information über die Drehrichtung des zirkular polarisierten Lichts erhalten.

Ferner ist eine Phasenplatte-Meßvorrichtung gemäß dem Sénaumont-Verfahren bekannt. In dieser Vorrichtung läuft einfallendes Licht, das eine horizontale Linearpolarisation

hat, durch eine Probe, ein Viertelwellenlängenplättchen und schließlich einen Polarisator, und das austretende Licht wird beobachtet. Den Messungen liegt ein Drehwinkel des Polarisators zugrunde.

Diese Art Vorrichtung leidet auch an dem Problem der Notwendigkeit, einen Polarisator zu bewegen.

Gemäß einem ersten Gedanken der Erfindung umfaßt eine Meßvorrichtung für polarisiertes Licht: ein Young Interferometer, das einen Einzelschlitz und ein Doppelschlitzelement einschließt, das parallel zu dem genannten Einzelschlitz angeordnet ist und zwei parallele Schlitze hat, die mit jeweiligen Polarisatorelementen versehen sind, die zueinander senkrechte Polarisationsrichtungen haben; einen Analysator, der stromabwärts des Young Interferometers vorgesehen ist; eine Bilderfassungseinrichtung zum Erfassen eines Interferenzstreifens von einfallendem Licht, das durch das genannte Young Interferometer und den genannten Analysator hindurchgegangen ist; und eine Bildanalyseeinrichtung zum Erzeugen eines Intensitätsprofils aus einem Ausgangssignal der genannten Bilderfassungseinrichtung und zum Aanalsatoren des genannten Intensitätsprofils, um einen Polarisationszustand des genannten einfallenden Lichts zu bestimmen.

Dieser Grundgedanke der Erfindung schafft eine Vorrichtung zum Messen von polarisiertem Licht, die ausreichende Informationen über die zirkulare oder elliptische Polarisation ohne Bewegn eines Polarisators bereitstellen kann.

Gemäß einem zweiten Gedanken der Erfindung umfaßt eine Phasenplatte-Meßvorrichtung: eine Lichtquelleneinrichtung zum Aussenden von einfallenden Licht, das eine bekannte Polarisation hat; ein Young Interferometer, das einen Einzelschlitz und ein

Doppelschlitzelement enthält, das parallel zu dem genannten Einzelschlitz angeordnet ist und zwei parallele Schlitze hat, die mit jeweiligen Polarisatorelementen versehen sind, die zueinander senkrechte Polarisationsrichtungen haben; einen Analysator, der stromabwärts des genannten Young Interferometers angeordnet ist;

eine Phasenplatte, die zwischen der genannten Lichtquellen-einrichtung und dem genannten Young Interferometer angeordnet ist;

eine Einrichtung zum Drehen der genannten Phasenplatte um eine Achse des genannten einfallenden Lichts;

eine Einrichtung zum Erfassen eines Drehwinkels der genann-ten Phasenplatte;

eine Bilderfassungseinrichtung zum Erfassen eines Interfe- renzstreifens des genannten einfallenden Lichts, das durch die genannte Phasenplatte, das genannte Young Interferometer und den genannten Analysator hindurchgegangen ist; und eine Bildanalyseeinrichtung zum Erzeugen eines Intensitäts- profils aus einem Ausgangssignal der genannten Bilderfas- sungseinrichtung und zum Bestimmen eines Phasenunterschiedes und einer Achse der genannten Phasenplatte auf der Grundlage des genannten erfaßten Drehwinkels und einer entsprechenden Verschiebung einer Spitze des genannten Intensitätsprofils.

Dieser zweite Grundgedanke der Erfindung schafft eine Pha- senplatte-Meßvorrichtung, die die erwünschten Messungen ohne Drehen eines Polarisators durchführen kann.

Mit der obigen Konstruktion kann der Polarisationszustand des einfallenden Lichts ohne irgendeinen bewegbaren Teil be- stimmt werden. Die Zirkularpolarisation und die zufällige Polarisation können voneinander unterschieden werden, und die Drehrichtung von zirkular polarisiertem Licht kann er- halten werden.

In dem Fall, daß eine Hochgeschwindigkeits-Bilderfassungs- einheit, wie eine Streifenkamera verwendet wird, können sehr

hohe Änderungsgeschwindigkeiten des Polarisationszustandes mit hoher Genauigkeit gemessen werden. Gleichzeitig kann eine Änderung der Wellenlänge (Chirp) gemessen werden.

Ferner können die Achse und die Verzögerung der Phasenplatte schnell bestimmt werden.

In den beigefügten Zeichnungen:

- Fig. 1 ist eine perspektivische Teilansicht, die eine Meßvorrichtung für polarisiertes Licht gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;
- Fig. 2 zeigt die Beziehung zwischen den Polarisationszuständen von einfallendem Licht und entsprechenden Profilen, die durch eine Bildanalysatoreinheit in dem Fall von linear polarisiertem Licht und zirkular polarisiertem Licht erzeugt wird;
- Fig. 3 zeigt die gleiche Beziehung wie Fig. 2 im Falle von elliptisch polarisiertem Licht;
- Fig. 4 ist eine perspektivische Teilansicht, die eine Meßvorrichtung für polarisiertes Licht gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung zeigt;
- Fig. 5 zeigt ein Beispiel eines Streifenbildes, das durch die Vorrichtung der Fig. 4 erhalten worden ist;
- Fig. 6 ist ein Blockdiagramm, das eine Meßvorrichtung für polarisiertes Licht gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung zeigt;
- Fig. 7(A) ist ein Vektordiagramm, das zeigt, wie verschiedene Polarisationskomponenten von einfallendem Licht durch Polarisatoren und einen Analysator

gewonnen werden.

Fig. 7(B) zeigt ein Beispiel eines erfaßten Profils des einfallenden Lichts;

Fig. 8, 9(A) und 9(B)  
zeigen eine Meßvorrichtung für polarisiertes Licht  
gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 10(A)-10(C)  
sind grafische Darstellungen, die Profile zeigen,  
die durch eindimensionale ladungsgekoppelte Einrichtungen (CCDs) erhalten worden sind;

Fig. 11(A)-11(C)  
stellen einen Analysator, einen eindimensionalen  
Meßfühler bzw. ein Beispiel eines erfaßten Profils  
gemäß einer Abänderung der vierten Ausführungsform  
dar;

Fig. 12 zeigt einen Doppelschlitz gemäß einer fünften Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 13 zeigt eine Vielzahl von Doppelschlitzen gemäß einer sechsten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 14 zeigt Bilder, die auf einer Bilderfassungseinheit  
in der Vorrichtung der sechsten Ausführungsform  
gebildet werden;

Fig. 15 ist eine perspektivische Teilansicht, die eine  
Meßvorrichtung für polarisiertes Licht gemäß einer  
siebten Ausführungsform der Erfindung zeigt;

Fig. 16(A)-16(D) und 17(A)-17(B)  
stellen die Arbeitsweise der Vorrichtung der Fig.  
15 dar;

**Fig. 18(A)-18(C)**

stellen die Arbeitsweise der Vorrichtung der Fig. 15 in dem Fall dar, wo einfallendes Licht mehrere Wellenlängen hat;

**Fig. 19(A), 19(B)**

stellen die Arbeitsweise der Vorrichtung der Fig. 15 in Kombination mit einer Streifenkamera dar; und

**Fig. 20** ist ein Blockdiagramm, das eine Phasenplatte-Meßvorrichtung gemäß einer achten Ausführungsform der Erfindung zeigt.

Eine erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird unter Bezugnahme auf die Fig. 1 - 3 beschrieben.

Wie es in Fig. 1 gezeigt ist, sind in einer Meßvorrichtung 10 für polarisiertes Licht ein Young Interferometer 18, das einen Einzelschlitz 14 und einen Doppelschlitz 16 parallel zu dem Einzelschlitz einschließt, ein Analysator 20 und eine Bilderfassungseinheit 22 in dieser Reihenfolge auf der optischen Achse von Licht angeordnet, das von einer sich unter Messung befindenden Lichtquelle 12 ausgesendet wird. Die Meßvorrichtung 10 für polarisiertes Licht schließt ferner ein eine Bildanalysatoreinheit 24 zum Analysieren eines erfaßten Bildes auf der Grundlage eines Ausgangssignals der Bilderfassungseinheit 22 und eine Ausgabeeinheit 26 für einen Polarisationszustand zum Anzeigen der Ergebnisse der Analyse der Bildanalysatoreinheit 24.

Ein Paar Polarisatoren 16A und 16B, die Polarisationsrichtungen von  $-45^\circ$  und  $+45^\circ$  in bezug auf die Längsrichtung des Doppelschlitzes 16 des Young Interferometer 18 haben, sind jeweils in dem Doppelschlitz 16 angeordnet.

Der Analysator 20 ist so angeordnet, daß seine Polarisat-

ionsrichtung parallel zu der Längsrichtung von jedem der Schlitze 14 und 16 wird. Deshalb ist die Polarisationsrichtung des Analysators 20 um  $+45^\circ$  und  $-45^\circ$  gegenüber derjenigen des Polarisators 16A bzw. 16B versetzt.

Die Bilderfassungseinheit 22 wirkt als ein zweidimensionaler Meßfühler und erfaßt Interferenzstreifen.

Die Bildanalysatoreinheit 24 erzeugt eine Intensitätsverteilung, das heißt ein "Profil" des Interferenzstreifens auf der Grundlage eines Ausgangsmusters in der Form von abwechselnd hellen und dunklen Bändern der Bilderfassungseinheit 22. Der Polarisationszustand des von der Lichtquelle 12 ausgesendeten Lichts wird durch Analysieren des Profils des erfaßten Interferenzstreifens erfaßt.

Die Profilausgabeeinheit 25 zeigt das derart erhaltene Profil als eine Zwischenausgabe der Bildanalysatoreinheit 24 an.

Die Ausgangseinheit 26 für den Polarisationszustand gibt die Ergebnisse der Analyse durch die Bildanalysatoreinheit 24 aus.

Die Bildanalysatoreinheit 24 wird mehr im einzelnen beschrieben. Alle denkbaren Profile der Interferenzstreifen, die in Reaktion auf verschiedene Polarisationszustände des einfallenden Lichts erhalten werden, werden im voraus in der Analysatoreinheit 24 gespeichert. Die Analysatoreinheit 24 vergleicht der Reihe nach das Profil mit den gespeicherten Profilen, das auf der Grundlage des Interferenzstreifens von der Erfassungseinheit 22 erzeugt worden ist, und nimmt eines der gespeicherten Profile, das dem erzeugten Profil am stärksten ähnelt, um den Polarisationszustand zu bestimmen. Das Ergebnis wird an die Ausgangseinheit 26 für den Polarisationszustand gegeben.

Die Beziehungen zwischen den Polarisationszuständen des einfallenden Lichts und den Profilen, die durch die Bildanalysatoreinheit 24 erzeugt worden sind, sind in den Fig. 2 und 3 gezeigt. Die Profile sind in der rechten Spalte dieser Figuren gezeigt, in der die Ordinate die Helligkeit (das heißt die Intensität) und die Abszisse eine Position darstellt.

Auf der Grundlage des Analyseergebnisses der Analysatoreinheit 24 zeigt die Ausgangseinheit 26 für den Polarisationszustand beispielsweise die Tatsache einer linearen Polarisation und ihren Winkel an, wie es in den Teilen (A)-(H) der Fig. 2, linke Spalte gezeigt ist, oder die Tatsache der Zirkularpolarisation und ihre Drehrichtung, das heißt Rechtsdrehung oder Linksdrehung, wie es in den Teilen (I)-(J) der linken linke Spalte gezeigt ist.

In dem Fall der elliptischen Polarisation, wie es in Fig. 3 gezeigt ist, ändert sich das durch die Bildanalysatoreinheit 24 erhaltene Profil mit den Änderungen des Winkels der Hauptachse und der Elliptizität. Fig. 3 stellt nur die rechtsdrehenden, elliptischen Polarisationen dar.

Genauer gesagt wird in dem Fall einer elliptischen Polarisation, die ein Verhältnis von 2:1 der großen Achse zu der kleinen Achse und einen Winkel von  $0^\circ$  hat, wie es in Teil (A) der Fig. 3, linke Spalte gezeigt ist, ein Profil, wie es in dem Teil (A) der Fig. 3, rechte Spalte gezeigt ist, erhalten.

Wenn eine solche elliptische Polarisation ihre Elliptizität ändert, um eine Polarisation anzunehmen, wie es in dem Teil (B) der Fig. 3, linke Spalte gezeigt ist, nimmt ihr Profil eine Form an, wie es in dem Teil (B) der Fig. 3, rechte Spalte gezeigt ist; das heißt, die Einhüllende des Profils bleibt unverändert und seine Phase wird verschoben.

Eine elliptische Polarisation mit einem Winkel von  $45^\circ$ , wie es in dem Teil (C) der Fig. 3, linke Spalte gezeigt ist, hat ein Profil, wie es in dem entsprechenden Teil der rechten Spalte gezeigt ist. Wenn die Elliptizität geändert wird, so daß sie zu einer Polarisation wird, wie es in dem Teil (D) der Fig. 4, linke Spalte gezeigt ist, wird die Einhüllende des Profils verändert, während die Phase unverändert bleibt.

Man versteht somit, daß, wenn der Winkel oder die Elliptizität einer beliebigen, elliptischen Polarisation geändert wird, die Phase und die Einhüllende eines Profils einer sich ergebenden, elliptischen Polarisation vorausgesagt werden können. Deshalb können der Winkel und die Elliptizität einer sich ergebenden, elliptischen Polarisation durch die Analyse bestimmt werden, die auf der Phase und der Einhüllenden des ursprünglichen Profils basiert, die von vornherein in der Bildanalysatoreinheit 24 gespeichert worden sind.

Mit anderen Worten ausgedrückt kann in dem Fall der elliptischen Polarisation, obgleich es idealerweise wünschenswert für die Bildanalysatoreinheit 24 ist, alle denkbaren Profile zu speichern, sie nur Standardprofile speichern.

Bei der ersten Ausführungsform läuft das von der Lichtquelle 12 ausgesendete Licht durch den Einzelschlitz 14, den Doppelschlitz 16 und den Analysator 20 und bildet einen Interferenzstreifen auf der Bilderfassungseinheit 22. Die Bildanalysatoreinheit 24 vergleicht das Profil dieses Interferenzstreifens mit den in ihr gespeicherten Profilen und nimmt eines der gespeicherten Profile, das dem erzeugten Profil am stärksten ähnelt. Die Analysatoreinheit 24 bestimmt den Polarisationszustand des einfallenden Lichts auf der Grundlage des so herausgenommenen Profils und liefert die Ergebnisse an die Ausgangseinheit 26 für den Polarisationszustand, das heißt, die Tatsache einer linearen Polarisation und ihren Winkel, die Tatsache einer Zirkularpolarisation und ihrer Drehrichtung oder die Tatsache einer

elliptischen Polarisation und ihres Winkels und ihrer Elliptizität. Die Ausgabeeinheit 26 für den Polarisationszustand zeigt solche Analyseergebnisse an.

Bei der ersten Ausführungsform sind alle denkbaren Profile von vornherein in der Bildanalysatoreinheit 24 gespeichert und die Analysatoreinheit 24 wählt eines der Profile aus, das dem Profil eines Interferenzstreifens am stärksten ähnelt, der durch die Bilderfassungseinheit 22 erfaßt worden ist, und bestimmt den Polarisationszustand des einfallenden Lichtes aus dem derart ausgewählten Profil. Dieses Verfahren kann "vollständiges Anpassungssystem" genannt werden. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf das vollständige Anpassungssystem beschränkt, sondern kann auf einem "teilweisen Anpassungssystem" basieren.

Gemäß dem teilweisen Anpassungssystem wird die Art des Polarisationszustandes, das heißt lineare, zirkulare oder elliptische Polarisation aus dem Mittenzustand des Profils beurteilt, das in der Bildanalysatoreinheit 24 erzeugt worden ist.

Wie es in den Fig. 2 und 3 in dem Fall der linearen Polarisation (mit Ausnahme für die Winkel  $\pm 45^\circ$ ) gezeigt ist, ist eine Spalte oder ein Tal eines Profils bei seiner Mitte angeordnet, und bei einer zirkularen oder elliptischen Polarisation kreuzt eine Kammlinie eines Profils seine Mittelinie. Deshalb kann eine lineare Polarisation von zirkularer oder elliptischer Polarisation unterschieden werden.

Genauer gesagt kann die Polarisationsrichtung einer linearen Polarisation auf der Grundlage des Unterschiedes zwischen den Intensitäten eines Profils auf der rechten und der linken Seite seiner Mitte und ob sich eine Spalte oder ein Tal in der Mitte befindet, bestimmt werden.

Wenn eine lineare Polarisation eine Polarisationsrichtung

von  $+45^\circ$  oder  $-45^\circ$  hat, die mit der Polarisationsrichtung der Polarisatoren 16A oder 16B zusammenfällt, erscheint kein Interferenzstreifen, wie es in den Teilen (C)-(D) der Fig. 2, rechte Spalte gezeigt ist. Deshalb können diese besonderen Fälle ohne weiteres unterschieden werden.

Die rechtsdrehenden Zirkularpolarisationen können voneinander auf der Grundlage davon unterschieden werden, ob die linksseitige Kammlinien (Teil (I) der Fig. 2) oder die rechtsseitige Kammlinie (Teil (J)) die Mittellinie kreuzt.

Eine zweite Ausführungsform der Erfindung, die in Fig. 4 gezeigt ist, wird unten beschrieben.

Die zweite Ausführungsform verwendet eine Streifenkamera 28 als eine Hochgeschwindigkeitsversion der Bilderfassungseinheit 22 der ersten Ausführungsform. Die Streifenkamera 28 und ein einfallsseitiger Schlitz 28A, der vor der Streifenkamera 28 angeordnet ist, bilden einen Hochgeschwindigkeitslinienmeßfühler.

Eine Bildanalysatoreinheit 30 beurteilt den Polarisationszustand des von einer sich unter Messung befindenden Lichtquelle 12 ausgesandten Lichts auf der Grundlage eines Streifenbildes, das durch die Streifenkamera 28 erhalten wird. Das Streifenbild wird auf einer Streifenbild-Ausgangseinheit 27 angezeigt.

Die Abstände von Interferenzstreifen eines Streifenbildes geben an eine Wellenlänge des einfallenden Lichts; den Modulationsgrad, eine Wellenlängenstreuung; die Phase und die Einhüllende, die Polarisationszustände; und die Weite entlang der Zeitachse, eine Pulsweite des einfallenden Lichts.

Fig. 5 zeigt ein Beispiel eines Streifenbildes eines Interferenzstreifens. Da die Zwischenräume von Interferenzstreifen von der Wellenlänge des einfallenden Lichts abhängen,

zeigt eine Verengung der Zwischenräume der Interferenzstreifen von der Position A zu der Position B in Fig. 5 eine Wellenlängenverschiebung zu der kürzeren Wellenlängenseite an.

Der Kontrast von hellen und dunklen Bändern wird von der Position A zu der Position B in Fig. 5 klein. Dies zeigt an, daß die Wellenlängenspanne zugenommen hat, da der Modulationsgrad eines Interferenzmusters von der Wellenlängenspanne abhängt.

Die Phase eines Interferenzmusters hängt von den Polarisationszuständen ab. Die Tatsache, daß die Spitze des Interferenzmusters in seiner Mitte bei der Position A in Fig. 5 liegt, zeigt die vertikale, lineare Polarisation an. Bei der Position C in Fig. 5 liegt das Tal des Interferenzmusters in seiner Mitte. Dies zeigt die horizontale, lineare Polarisation an.

Ferner kann die Pulsweite des einfallenden Lichts aus der Weite des Streifenbildes in der Zeitachsenrichtung bestimmt werden.

Bei der zweiten Ausführungsform können die Polarisationszustände bestimmt werden, indem der Reihe nach die Interferenzstreifen der entsprechenden Zeitpunkte analysiert werden. Mit anderen Worten besteht keine Notwendigkeit, das ganze Streifenbild gleichzeitig zu analysieren. Insbesondere wird ein Fenster, das eine ausreichend kleine Zeitweite auf der Zeitachse des Streifenbildes hat, in der Richtung des einfallsseitigen Schlitzes 28A eingestellt. Ein Profil des erhaltenen Streifenbildes wird von der Bildanalysatoreinheit 30 aufgenommen. Das derart erhaltene Profil ist das gleiche wie bei der ersten Ausführungsform. Wenn deshalb denkbare Profile in der Bildanalysatoreinheit 30 gespeichert werden, kann der Polarisationszustand des sich unter Messung befindenden Lichts zu diesem Zeitpunkt gemäß dem vollständigen

Anpassungssystem oder dem teilweise Anpassungssystem bestimmt werden.

Die Vorrichtung der zweiten Ausführungsform kann gemeinsam nicht nur den Polarisationszustand des sich in Messung befindenden Lichts sondern auch Zeitauflösungsmessungen durchführen, wie eine Änderung der Polarisation mit großer Geschwindigkeit, eine Pulsweite des Lichts, eine Wellenlängenverschiebung (Chirp), eine Änderung der Wellenlängenspanne.

Obgleich der Analysator 20 bei der ersten und der zweiten, oben beschriebenen Ausführungsform auf  $0^\circ$  festgelegt ist, ist die Erfindung nicht auf solche Fälle beschränkt, sondern der Analysator 20 kann in drehbarer Weise angeordnet sein.

Es kann der Fall sein, daß in Abhängigkeit von dem Polarisationszustand des sich unter Messung befindenden Lichts der Unterschied zwischen den Intensitäten der zwei Lichtbündel, nachdem sie durch die Polarisatoren 16A und 16B des Doppelschlitzes 16 hindurchgegangen sind, zu groß ist, um den Polarisationszustand zu bestimmen.

Um mit diesem Problem zurechtzukommen, kann eine Anordnung einer dritten Ausführungsform verwendet werden, wie es in Fig. 6 gezeigt ist. Bei dieser Anordnung können die Intensitäten der Lichtbündel, die von dem Doppelschlitz 16 ausgehen, und in Richtung zu der Eingangsebene der Bildanalysatoreinheit 22 laufen, gesteuert werden, daß sie einander gleich sind, indem der Analysator 20 gedreht wird. Diese Anordnung erleichtert die Messung von Interferenzstreifen und liefert infolge dessen eine leichte und genaue Analyse der Polarisationszustände.

In Fig. 6 bezeichnet das Bezugszeichen 20A einen Halter für den Analysator 20; 20B eine Betätigungsseinrichtung zum Drehen des Analysators 20 zusammen mit dem Halter 20A; und 22A eine Bildeingangsebene der Bildanalysatoreinheit 22.

Es sei hier angenommen, daß, wie es in Fig. 7(A) gezeigt ist, das sich unter Messung befindende Licht linear polarisiertes Licht ist, das eine Polarisationsrichtung von  $60^\circ$  von der vertikalen Richtung hat. In diesem Fall sind die Intensitäten der Lichtbündel, die von den Polarisatoren 16A und 16B des Doppelschlitzes 16 gewonnen worden sind, 0,933 für die Richtung  $+45^\circ$  und 0,067 für die Richtung  $-45^\circ$ . Da der Unterschied zwischen diesen zwei Intensitäten zu groß ist, ist es schwierig, das Verhältnis der zwei Intensitäten aus dem Profil zu erhalten, das durch die Bildanalysatoreinheit 24 erzeugt wird (siehe Fig. 7 (b)). Um dieses Problem zu vermeiden, kann der Analysator 20 um eine geeignete Größe um die optische Achse gedreht werden, um den obigen Unterschied der Lichtintensität aufzuheben.

Genauer gesagt, wenn ein Drehwinkel in bezug auf die vertikale Richtung durch X Grad dargestellt wird, ist die  $+45^\circ$  Komponente des auf die Bilderfassungseinheit 22 auffallenden Lichts  $0,933\cos^2(X-45^\circ)$  und die  $-45^\circ$  Komponente  $0,067\sin^2(X-45^\circ)$ . Der Winkel X, um die zwei Komponenten gleich zu machen, ist  $120^\circ$ . Wenn deshalb der Analysator 20 um die optische Achse um  $120^\circ$  gedreht wird, wird die Einhüllende des Profils, das durch die Bildanalysatoreinheit 24 gebildet wird, symmetrisch, wodurch die Messung erleichtert wird.

Im allgemeinen kann, wo polarisierte Lichtbündel, die die Amplitude A in der  $+45^\circ$  Richtung und die Amplitude B in der  $-45^\circ$  Richtung haben, auf den Analysator 20 auffallen, der Analysator 20 gedreht werden, um die Beziehung:  $A^2\cos^2(X-45^\circ) = B^2\sin^2(X-45^\circ)$  zu erfüllen. Durch diese Drehung kann das Profil symmetrisch gemacht werden, das durch die Bildanalysatoreinheit 24 erzeugt wird, das sich aufgrund der zwei Lichtbündel ergibt, die von den Polarisatoren 16A und 16B gewonnen werden. Die obige Gleichung kann vereinfacht werden zu:  $\tan(X-45^\circ) = A/B$ .

Bei einer tatsächlichen Messung wird andererseits der Ana-

lysator 20 so gedreht, daß die Durchschnittsintensität der Einhüllenden des Profils, das durch die Bildanalysatoreinheit 24 gebildet wird, symmetrisch in bezug auf die vertikale Mittellinie wird, und der Drehwinkel des Analysators 20 wird gemessen. Das Verhältnis der Komponenten der durch die Polarisatoren 16A und 16B gewonnenen Lichtbündel wird auf der Grundlage des gemessenen Drehwinkels erhalten. Um dieses Verhältnis zu erhalten, wird ein Signal, das eine Arbeitsgröße der Betätigungsseinrichtung 20B darstellt, an die Bildanalysatoreinheit 24 geliefert.

Obgleich die obige Beschreibung für linear polarisiertes Licht gemacht worden ist, kann die Messung auch bei zirkular oder elliptisch polarisiertem Licht erleichtert werden, indem der Polarisator 20 in der gleichen Weise gedreht wird.

Eine Meßvorrichtung für polarisiertes Licht der Fig. 8, 9(A) und 9(B) gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung wird unten beschrieben.

Bei der vierten Ausführungsform ist ein Analysator 32, der erste bis dritte Analysatorelemente 32A-32C hat, zwischen dem Doppelschlitz 16 und der Bilderfassungseinheit 22 so angeordnet, daß die Analysatorelemente 32A-32C in der Längsrichtung des Doppelschlitzes 16 angeordnet sind. Die Polarisationsrichtungen des ersten und des zweiten Analysatorelements 32A und 32B fallen mit denen der Polarisatoren 16A und 16B des Doppelschlitzes jeweils zusammen. Die Polarisationsrichtung des dritten Analysatorelements 32C, das zwischen dem ersten und dem zweiten Analysatorelement 32A und 32B angeordnet ist, fällt mit der Längsrichtung (das heißt der vertikalen Richtung in Fig. 8) des Doppelschlitzes 16 zusammen.

Bei dieser Ausführungsform besteht die Bilderfassungseinheit 22 aus drei eindimensionalen, ladungsgekoppelten Einheiten (CCDs) 34A-34C, die in Verbindung mit den jeweiligen Analy-

satorelementen 32A-32C angeordnet sind.

Eine besondere Konstruktion der vierten Ausführungsform ist in den Fig. 9(A) und 9(B) gezeigt. Ein optischer Meßkopf 36 besteht aus einem Einzelschlitz 14, einen Doppelschlitz 16, dem Analysator 32 und den eindimensionalen, ladungsgekoppelten Einrichtungen (CCDs) 34A-34C, die so angeordnet sind, daß ihre Achsen gleich der optischen Achse des von der Lichtquelle 12 ausgesandten, sich unter Messung befindenden Lichts ist.

Genauer gesagt sind der Einzelschlitz 14, der Doppelschlitz 16, der Analysator 32 und die eindimensionalen, ladungsgekoppelten Einrichtungen (CCDs) 34A-34C in dieser Reihenfolge innerhalb eines Objektivtubus 38 angeordnet, dessen innere Oberfläche schwarz angemalt ist. Der optische Meßkopf 36 wird unter Verwendung eines magnetischen Ständers 40 so angeordnet, daß seine Achse mit der Achse des sich unter Messung befindenden Lichts zusammenfällt.

Die Lagebeziehung zwischen dem Einzelschlitz 14, dem Doppelschlitz 16 und dem Analysator 32 wird unten im einzelnen beschrieben. P soll eine Bezugslinie darstellen, die durch die Mitte des Einzelschlitzes gezogen und senkrecht zu der Längsrichtung des Einzelschlitzes 14 ist. P' soll eine andere Bezugslinie darstellen, die durch die Mitte des Doppelschlitzes 16 gezogen ist und senkrecht zu der Längsrichtung des Doppelschlitzes 16 ist. Das dritte Analysatorelement 32C ist auf einer Linie P" angeordnet, wo die durch die Bezugslinien P und P' definierte Ebene die Ebene des Analysators 32 so schneidet, daß seine Polarisationsrichtung senkrecht zu der Linie P" ist. Das erste und das zweite Analysatorelement 32A und 32B sind so angeordnet, daß diese das dritte Analysatorelement 32C in der Richtung senkrecht zu der Linie P" dazwischennehmen und daß sie gleichbeabstandet von der Bezugslinie P" sind.

Wie es in Fig. 9(B) gezeigt ist, sind die eindimensionalen, ladungsgekoppelten Einrichtungen (CCDs) 34A bis 34C in enger Berührung jeweils mit den Rückseiten des ersten bis dritten Analysatorelementes 32A-32C angeordnet.

Die Arbeitsweise der Vorrichtung der vierten Ausführungsform wird nachfolgend beschrieben.

Wenn man annimmt, daß jede der eindimensionalen, ladungsgekoppelten Einrichtungen (CCDs) 34A-34C 1024 Bildelemente hat, sind die Profile, die von den ladungsgekoppelten Einrichtungen (CCDs) 34A und 34B, die dem ersten und dem zweiten Analysatorelement 32A und 32B entsprechen, so, wie es in der Fig. 10(A) bzw. 10(B) gezeigt ist. In jeder der Fig. 10(A)-10(C) ist die Mittellinie gezeichnet, um ein Ausgangssignal des 512. Elements als das mittlere Element jeder ladungsgekoppelten Einrichtung (CCD) zu kennzeichnen.

Ein von dem Ausgang des dritten Analysatorelements 32C erhaltenes Profil ist, wie es in Fig. 10(C) gezeigt ist, und hat eine Einhüllende eines Interferenzstreifens, die von den Profilen der Fig. 10(A) und 10(C) abhängt.

Bei dem Profil der Fig. 10(C) bezeichnet das Bezugszeichen D den Unterschied zwischen den Elementzahlen der zwei Elemente, die die Spitzenwerte erzeugen, die dem zentralen Element am nahesten sind, das durch die Elementzahl 512 dargestellt ist. Das Bezugszeichen C zeigt den Unterschied zwischen der Elementzahl des Elementes, das den nahesten Spitzenwert zu dem und auf der rechten Seite des mittleren Elementes erzeugt, und dem mittleren Element 512. Integrationswerte A und B der Ausgangssignale  $W_1$  und  $W_2$  der eindimensionalen, ladungsgekoppelten Einrichtungen (CCDs) 34A und 34B, die in Fig. 10(A) und 10(B) gezeigt sind, werden

$$\text{jeweils ausgedrückt durch: } A = \sum_{N=1}^{1024} W_1(N) \text{ und } B = \sum_{N=1}^{1024} W_2(N). \quad A/B$$

stellt ein Verhältnis zwischen den Intensitäten der durch

die Polarisatoren 16A und 16B gewonnenen Lichtkomponenten dar.

Ferner ist  $\theta$  ( $=360^\circ \cdot C/D$ ) ein Phasenvorlaufwinkel der  $+45^\circ$  Polarisationskomponente in bezug auf die  $-45^\circ$  Polarisationskomponente.

Daher kann ein beliebiger Polarisationszustand des sich unter Messung befindenden Lichts auf der Grundlage des Verhältnisses A/B und des Winkels  $\theta$  bestimmt werden.

Die mittlere Wellenlänge des sich unter Messung befindenden Lichts kann aus dem Wert D erhalten werden.

Der Wert D kann irgendeiner des Unterschiedes zwischen den Elementzahlen der Elemente sein, die den zwei sich am nahesten bei dem zentralen Element befindenden Tälern entsprechen, ein Durchschnitt der Abstände zwischen benachbarten Spitzen über das gesamte Profil, und ein Durchschnitt der Abstände zwischen benachbarten Tälern über das gesamte Profil.

Als nächstes wird erklärt, wie der Polarisationszustand in einer genaueren Weise bei der vierten Ausführungsform bestimmt wird.

Das Profil eines Interferenzstreifens ist, wenn eine Lichtquelle einer einzelnen Wellenlänge verwendet wird, gegeben durch:

$$I(x) = I_1(x) + I_2(x) + 2 \sqrt{I_1(x)I_2(x)} \cos(Kx + \theta) \dots (1)$$

mit

x: Position auf der Eingangsoberfläche,

$I_1(x)$  und  $I_2(x)$ : Profile, die erhalten werden, wenn die Lichtbündel durch die jeweiligen Schlitze des Doppelschlitzes 16 hindurchgehen, werden beobachtet, ohne einer

Interferenz ausgesetzt zu sein,

$K$  : Proportionalitätskonstante in Abhängigkeit von dem Aufbau des optischen Systems und der Wellenlänge, und

$\theta$  : Phase eines Interferenzstreifens

Wenn man die Phase  $\theta$  eines Interferenzstreifens erhält, sollte berücksichtigt werden, daß, da die Gleichung (1) die Größen  $I_1(x)$  und  $I_2(x)$  enthält, das Verfahren, das auf den Spitzen eines Profils basiert, möglicherweise einen Fehler bei dem Phasenwert  $\theta$  erzeugt, der erhalten wird, wo sich die Profile  $I_1(x)$  oder  $I_2(x)$  scharf ändern. Das Problem kann mit der folgenden Methode gelöst werden. Das heißt, die Profile  $I_1(x)$  und  $I_2(x)$  werden im voraus erhalten, und dann in die folgende Gleichung eingesetzt, die sich aus der Gleichung (1) ergibt:

$$\cos(Kx + \theta) = (I(x) - \{I_1(x) + I_2(x)\}) / 2 \sqrt{I_1(x)I_2(x)} \dots (2)$$

Die Phase  $\theta$  wird aus der Gleichung (2) genau berechnet.

Beispielsweise kann in dem Fall, wo eindimensionale, ladeungsgekoppelte Einrichtungen (CCDs) für die Bilderfassungseinheit verwendet werden, wenn die Ausgangssignale von den Elementen der Elementzahl  $N$  bei den Wellenformen der Fig. 10(A)-10(C) als  $W_1(N)$ ,  $W_2(N)$  bzw.  $W_3(N)$  geschrieben werden, ein korrigiertes Ausgangssignal  $W_3'(N)$  ausgedrückt werden:

$$W_3'(N) = [W_3(N) - \{W_1(N) + W_2(N)\}] / 2 \sqrt{W_1(N)W_2(N)} \dots (3)$$

Indem das in Fig. 10(C) dargestellte Verfahren auf den korrigierten Ausgang  $W_3'(N)$  der Gleichung (3) angewendet wird, kann die Phase genau berechnet werden.

Obgleich die vorstehende Erklärung für die Lichtquelle einer einzelnen Wellenlänge gemacht worden ist, kann die obige Methode des Berechnens der Phase des Profils eines Interfe-

renzstreifens ebenfalls bei dem Fall einer Lichtquelle angewendet werden, die eine gewisse spektrale Spanne hat, um die Phase in einer genauen Weise zu berechnen. In diesem Fall kann zusätzlich dazu, wie es oben beschrieben worden ist, der Polarisationszustand auf der Grundlage des Verhältnisses A/B und der Phase  $\theta$  erhalten werden und die Wellenlängenspanne des sich unter Messung befindenden Lichts aus einer Profilerweiterung an der Spitze des korrigierten Ausgangssignals  $W_3'(N)$  bestimmt werden.

Bei der vierten Ausführungsform sind das erste bis dritte Analysatorelement 32A-32C des Analysators 32 vertikal angeordnet. Alternativ können das erste bis dritte Analysatorelement 42A bis 42C, die den Analysatorelementen 32A-32C ähnlich sind, horizontal angeordnet werden, das heißt in der Weitenrichtung des Doppelschlitzes 16, wie es in Fig. 11(A) gezeigt ist.

Bei dieser Alternative kann ein einzelner, eindimensionaler Meßfühler 44 für die Bilderfassungseinheit verwendet werden, wie es in Fig. 11(B) gezeigt ist.

Fig. 11(C) zeigt ein Beispiel eines Profils, das von Licht erhalten worden ist, das durch das erste bis dritte Analysatorelement 42A-42C hindurchgegangen und von dem Meßfühler 44 erfaßt worden ist. Der Teil C' des Profils, der sich aus der Interferenz ergibt, wird in Verbindung mit dem dritten Analysatorelement 42C erhalten. Nur die Intensitätsinformation wird in Verbindung mit dem ersten und dem zweiten Analysatorelement 42A und 42B, wie es in Fig. 11(C) gezeigt ist, als die Teile A' und B' erhalten.

Da die Weite des dritten Analysatorelements 42C begrenzt ist, ist die Anzahl der Streifen eines Interferenzstreifens klein. Aber die kleine Anzahl bewirkt keine Schwierigkeit, weil es ausreicht, daß der Phasenunterschied des polarisierten Lichts aus der Position der Profilspitze bestimmt wird.

Da die Teile A' und B', die dem ersten und dem zweiten Analysatorelement 42A und 42B entsprechen, keine Streifen haben, kann das Verhältnis zwischen den Intensitäten der Lichtbündel nach dem Durchlaufen durch die zwei Schlitze des Doppelschlitzes 16 ohne weiteres erhalten werden.

Bei jeder der obigen Ausführungsformen sind die Schlitzweite und der Abstand zwischen den Slitzen des Doppelschlitzes 16 festgelegt, aber die Erfindung ist nicht auf diese Art beschränkt.

Beispielsweise kann, wie es in Fig. 12 gezeigt ist, der Doppelschlitz 17 durch eine Betätigungsseinrichtung 19 angetrieben werden, um den Abstand zwischen den Slitzen zu ändern. Bei dieser fünften Ausführungsform werden die Polarisatoren 17A und 17B, die dieselbe Polarisationsrichtung wie die Polarisatoren 16A und 16B haben, jeweils in der Bewegungsrichtung über den Bewegungsbereich des Doppelschlitzes 17 ausgedehnt.

Gemäß dieser Ausführungsform kann ein Interferenzstreifen, der für die Wellenlänge des sich unter Messung befindenden Lichts geeignet ist, erhalten werden, indem ein geeigneter Abstand zwischen den Slitzen des Doppelschlitzes 17 ausgewählt wird.

Ferner kann, wie es bei einer sechsten Ausführungsform der Fig. 13 gezeigt ist, eine Vielzahl von Doppelschlitzten 48A-48C, die unterschiedliche Abstände haben, in einer einzelnen Platte 46 angeordnet werden, und einfallendes Licht kann durch die Doppelschlitzte 48A-48C gleichzeitig hindurchgehen.

Ein zusätzlicher Doppelschlitz 48D kann auch vorgesehen sein, der eine Schlitzweite und einen Abstand hat, die keine Interferenz bewirken, und das einfallende Licht kann gleichzeitig durch den Doppelschlitz 48D hindurchgehen.

Alle die obigen Doppelschlitz sind mit Polarisatoren versehen, die orthogonale Polarisationsrichtungen haben, wie bei der ersten Ausführungsform.

Die Arbeitsweise der sechsten Ausführungsform wird unten beschrieben.

Wo das sich unter Messung befindende Licht eine lange Wellenlänge hat, wird die Anzahl der Streifen in einem Interferenzstreifen eines Profils, das durch die Bildanalysatoreinheit 24 erzeugt worden ist, klein, was die Bildanalyse schwierig macht.

Bei den oben beschriebenen Ausführungsformen wird der Polarisationszustand des einfallenden Lichts durch Vergleich der Phase und der Einhüllenden eines Profils, das sich aus dem Durchtritt durch die Polarisatoren 16A und 16B ergibt, mit den gespeicherten Profilen bestimmt. Wenn jedoch ein erfaßter Streifen dunkel ist, wird die Einhüllende demgemäß unscharf und die Meßgenauigkeit wird verschlechtert.

Bei der sechsten Ausführungsform der Fig. 13 kann ein klarer Interferenzstreifen aus den Interferenzstreifenn, die durch die jeweiligen Doppelschlitz 48A-48C (siehe Fig. 14) gebildet sind, für die nachfolgende Bildanalyse und Messung ausgewählt werden, was bedeutet, daß die zugeordneten Doppelschlitz für die Wellenlänge des einfallenden Lichts geeignet sind. Als ein Ergebnis kann die Phase eine Profile mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Da der weite Doppelschlitz 48D keinen Interferenzstreifen (siehe Fig. 14) erzeugt, stellen die einfallenden Lichtbündel, die durch die Polarisatoren 16A und 16B gewonnen werden und durch den Analysator 20 hindurchgehen, ihre eigenen Intensitäten dar. Das Verhältnis zwischen den Intensitäten der zwei Lichtbündel kann ohne weiteres bestimmt werden. Deshalb können gemäß der sechsten Ausführungsform die Phase und das Intensitätsverhältnis eines Profils sehr genau erhalten werden, und ei-

ne äußerst genaue Messung des Polarisationszustandes des einfallenden Lichts kann durchgeführt werden.

Die sechste Ausführungsform verlangt einen zweidimensionalen Meßfühler als die Bilderfassungseinheit, da die Bilder der einfallenden Lichtbündel, die durch die Doppelschlitz 48A-48D in der Platte 46 hindurch gehen, gleichzeitig erfaßt werden sollten.

Bei der oben beschriebenen Ausführungsform wird der Polarisationszustand des sich unter Messung befindenden Lichts beispielsweise durch die Streifenanpassung erhalten, die bei der Analysatoreinheit 24 oder 30 durchgeführt wird, so daß das von dem Ausgang der Bilderfassungseinheit 22 oder der Streifenkamera 28 erzeugte Profil mit den gespeicherten Profilen verglichen wird. Fig. 15 zeigt eine siebte Ausführungsform der Erfindung, bei der der Polarisationszustand des einfallenden Lichts in einer Bildanalysatoreinheit 49 durch ein Fourier Transformationsverfahren bestimmt wird.

Wie es oben beschrieben worden ist, kann der Polarisationszustand des sich unter Messung befindenden Lichts bestimmt werden, wenn das Intensitätsverhältnis A/B und der Phasenunterschied  $\theta$  zwischen den Lichtbündeln bestimmt wird, die durch die Polarisatoren 16A und 16B des Doppelschlitzes 16 und die Analysatoren 20 oder 32 hindurchtreten. Bei der siebten Ausführungsform wird eine Fourier Transformation auf das Profil angewendet, um ein Frequenzachsenprofil zu erzeugen. In einem solchen Frequenzachsenprofil werden eine Interferenzstreifenkomponente (Komponente hoher Frequenz), die Informationen über den Phasenunterschied  $\theta$  enthält, und die andere Komponente (Komponente niederer Frequenz) voneinander getrennt, die Informationen über das Intensitätsverhältnis A/B enthält.

Fig. 16(A) zeigt ein Beispiel eines Ausgangsmusters von der Bilderfassungseinheit 22. Sein Profil  $I(x)$  ist, wie es in

Fig. 16(B) gezeigt ist.  $I(x)$  wird durch die Gleichung (1), die oben bereits erörtert worden ist, ausgedrückt:

$$I(x) = I_1(x) + I_2(x) + 2 \sqrt{I_1(x)I_2(x)} \cos(Kx+\theta) \dots (1)$$

Da sich die Größen  $I_1(x)$  und  $I_2(x)$  langsam im Vergleich zu der Komponente ändern, die die Interferenz darstellt, kann die Gleichung (1) in eine niederfrequente Komponente  $I_A(x)$  und eine hochfrequente Komponente  $I_B(x)$  aufgeteilt werden. Das heißt

$$I(x) = I_A(x) + I_B(x) \dots (4)$$

mit

$$I_A(x) = I_1(x) + I_2(x), \text{ und} \dots (5)$$

$$I_B(x) = 2 \sqrt{I_1(x)I_2(x)} \cos(Kx+\theta) \dots (6)$$

$I_A(x)$  und  $I_B(x)$  sind in Fig. 16(C) bzw. 16(D) gezeigt.

$F\{I_A(x)\}$  und  $F\{I_B(x)\}$  können durch Fourier Transformation des Profils  $I(x)$  der Fig. 16(B) erhalten werden. In diesen Ausdrücken ist "F" ein Fourier Transformationsoperator. Wie es in Fig. 17(A) gezeigt ist, können  $F\{I_A(x)\}$  und  $F\{I_B(x)\}$  auf der Frequenzachse getrennt werden.

Nur  $I_A(x)$  der Fig. 16(C) kann erhalten werden, indem  $F\{I_B(x)\}$  in Fig. 17A unter Verwendung eines Tiefpaßfilters entfernt wird, und dann das gefilterte Ergebnis einer umgekehrten Fourier Transformation unterzogen wird.

$I_A(x)$  ist eine Überlagerung der Profile des sich unter Messung befindenden Lichts, die erhalten werden, indem die Schlitze des Doppelschlitzes 16 zu unterschiedlichen Zeitpunkten geöffnet werden. Diese Profile sind in Fig. 17(B) gezeigt und ausgedrückt als:

$$I_1(x) = A[\sin\{K'(x+d)\}/K'(x+d)]^2$$

$$I_2(x) = B[\sin\{K'(x + d)\}/K'(x + d)]^2$$

Durch das Verfahren der kleinsten Quadrate können A und B aus den obigen zwei Gleichungen und den Daten von  $I_A(x)$  der Fig. 16(C) berechnet werden.

In den obigen Ausdrücken stellen A und B die Intensitätsamplituden von  $I_A(x)$  bzw.  $I_B(x)$  dar; 2d den Abstand zwischen den Schlitzen des Doppelschlitzes 16; und K' eine Proportionalitätskonstante.

Nur  $I_B(x)$  der Fig. 16(D) kann erhalten werden, indem  $F\{I_A(x)\}$  in Fig. 17(A) unter Verwendung eines Hochpaßfilters entfernt wird, und das gefilterte Ergebnis einer umgekehrten Fourier-Transformation unterzogen wird.

Indem man den Schritt  $T_1$  und den Abstand  $T_2$  von der Mitte zu der Spitze der Wellenform von  $I_B(x)$  der Fig. 16(D) erhält, kann der Phasenunterschied  $\theta$  berechnet werden, wie folgt:

$$\theta = 360^\circ \cdot T_2/T_1$$

Der Phasenunterschied  $\theta$  kann direkt aus dem Verhältnis zwischen dem Realteil und dem Imaginärteil der fouriertransformierten Daten  $F\{I_B(x)\}$  berechnet werden.

Wie es in Fig. 18(C) gezeigt ist, können selbst, wenn das sich unter Messung befindende Licht mehrere Wellenlängen hat (siehe Fig. 18(A)), die jeweiligen Komponentenprofile durch eine Fourier-Transformation des Profils eines Interferenzstreifens getrennt werden, der durch Überlagerung einer Vielzahl von (beispielsweise zwei) Streifen der Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  gebildet wird (siehe Fig. 18(B)).

Die Technik auf der Grundlage der Fourier Transformation der siebten Ausführungsform kann auch bei der zweiten Ausführungsform angewendet werden, die die Streifenkamera 28 ver-

wendet, um Zeitauflösungsmessungen durchzuführen.

In diesem Fall wird, wenn das sich unter Messung befindende Licht mehrere Wellenlängen hat, ein Bild, wie es in Fig. 19(B) gezeigt ist, durch eine Fourier-Transformation eines zeitaufgelösten Interferenzstreifens der Fig. 19(A) nur auf der X-Achse gebildet.

Eine Zeitwellenform des sich unter Messung befindenden Lichts kann aus dem Interferenzstreifen der Fig. 19(A) erhalten werden. Das Bild der Fig. 19(B) zeigt eine zeitliche Änderung der Wellenlänge, das heißt einen Chirp, und eine Änderung des Phasenunterschiedes zwischen den Lichtbündeln, die durch den Doppelschlitz 16 hindurchgegangen sind.

Eine achte Ausführungsform der Erfindung wird unter Bezugnahme auf Fig. 20 beschrieben.

Die achte Ausführungsform betrifft eine Vorrichtung zum Messen der Orientierung der Kristallachse und des Phasenunterschiedes einer Phasenplatte.

Der Hauptunterschied der achten Ausführungsform gegenüber der ersten Ausführungsform der Fig. 1 ist, wie folgt. Das einfallende Licht ist linear polarisiertes Licht. Eine Phasenplatte 50, die ausgemessen werden soll, ist auf der Einfallsseite des Young Interferometers 18 angeordnet, in dem zwei Polarisatoren, die orthogonale Polarisationsrichtungen haben, in entsprechenden Schlitten des Doppelschlitzes derart vorgesehen sind, daß sie um die Achse des einfallenden Lichts mittels eines Motors 52 drehbar sind. Ein Stellgeber 58 zum Messen eines Drehwinkels der Phasenplatte 50 wird auch verwendet.

Ein Bildsignal, das durch die Bilderfassungseinheit 22 erhalten wird, wird durch eine Bildanalysatoreinheit 24 analysiert. Eine Profilausgangseinheit 25 zeigt ein erhaltenes

Profil als eine Zwischenausgabe der Bildanalysatoreinheit 24 an. Eine Recheneinheit 56 bestimmt die Orientierung der Kristallachse und den Phasenunterschied der Phasenplatte 50 auf der Grundlage der Analyseergebnisse eines Interferenzstreifens, wobei eine Anzeigeeinheit 60 diese Ergebnisse anzeigt. Die übrige Anordnung der achten Ausführungsform ist im wesentlichen die gleiche wie die der Ausführungsform der Fig. 1.

Das linear polarisierte Licht geht durch die Phasenplatte 50 hindurch, die durch den Motor 52 gedreht wird, und wird dann von der Bilderfassungseinheit 22 erfaßt. Die Spitze eines Profils eines Interferenzstreifens schwingt mit der Linie "O" (Schirmmitte) in Fig. 20 als Mittelachse gemäß dem Phasenunterschied der Phasenplatte 50.

Wenn beispielsweise die Phasenplatte 50 ein Viertelwellenlängenplättchen ist und wenn der Winkel zwischen der Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts und der Kristallachse der Phasenplatte 50 gleich  $45^\circ$  ist, nimmt eine Verschiebung der Profilspitze im bezug auf die Mittelachse O ein Maximum an, wenn der Phasenunterschied gleich  $\theta = 90^\circ$  ist. Wenn der Winkel  $-45^\circ$  ist, nimmt die Verschiebung ein Maximum in der entgegengesetzten Richtung an, wenn  $\theta = -90^\circ$ . Bei Winkeln zwischen  $45^\circ$  und  $-45^\circ$  ist die Einhüllende des Profils nicht symmetrisch, und infolgedessen kann der Winkel zum Bereitstellen der maximalen Verschiebung ohne weiteres bestimmt werden.

Somit kann der Phasenunterschied der Phasenplatte 50 auf der Grundlage des maximalen Winkels von  $\theta$  bestimmt werden.

Ferner stellt eine Position, bei der sich die Profilspitze bei der Mittelachse O befindet, die Kristallachse oder die Achse senkrecht dazu dar, das heißt die Phasenverzögerungsachse oder die Phasenvorlaufachse des Kristalls, der die Phasenplatte 50 bildet.

Der Phasenunterschied und die Achse können in der folgenden Weise erhalten werden. Der Motor wird über die Recheneinheit 56 so gedreht, daß eine maximale Spitzenverschiebung des Profils erhalten wird, das durch die Bildanalysatoreinheit 24 erhalten wird. Die Ausgangsdate des Stellgebers zeigt zu diesem Zeitpunkt den Phasenunterschied und die Achse an.

Obgleich die achte Ausführungsform für linear polarisiertes einfallendes Licht erklärt worden ist, ist die vorliegende Erfindung nicht auf einen solchen Fall beschränkt, sondern kann auf einfallendes Licht angewendet werden, das irgend-eine Art Polarisation hat, wenn diese bekannt ist.

EP 91308543.7

HAMAMATSU PHOTONICS K. K.

PATENTANSPRÜCHE

1. Eine Meßvorrichtung für polarisiertes Licht umfassend:  
ein Young Interferometer (18), das einen Einzelschlitz (14) und ein Doppelschlitzelement (16) einschließt, das parallel zu dem genannten Einzelschlitz (14) angeordnet ist und zwei parallele Schlitze (16A, 16B) hat, die mit jeweiligen Polarisatorelementen versehen sind, die zueinander senkrechte Polarisationsrichtungen haben;  
einen Analysator (20), der stromabwärts des Young Interferometers vorgesehen ist;  
eine Bilderfassungseinrichtung (22) zum Erfassen eines Interferenzstreifens von einfallendem Licht, das durch das genannte Young Interferometer und den genannten Analysator hindurchgegangen ist; und  
eine Bildaanalysatoreinrichtung (24) zum Erzeugen eines Intensitätsprofils aus einem Ausgangssignal der genannten Bilderfassungseinrichtung und zum Aanalsatoren des genannten Intensitätsprofils, um einen Polarisationszustand des genannten einfallenden Lichts zu bestimmen.
2. Die Vorrichtung gemäß Anspruch 1, ferner umfassend eine Ausgangseinrichtung (26) zum Anzeigen des genannten Polarisationszustands.
3. Die Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, in der die genannte Bildaanalysatoreinrichtung (24) angeordnet ist, den genannten Polarisationszustand zu bestimmen, indem das genannte erzeugte Intensitätsprofil mit Pro-

filen verglichen wird, die im voraus in der genannten Bildanalysatoreinrichtung gespeichert sind.

4. Die Vorrichtung gemäß irgendeinem vorhergehenden Anspruch, in der der genannte Analysator (20) so angeordnet ist, daß seine Polarisationsrichtung bei  $+45^\circ$  bzw.  $-45^\circ$  zu den genannten Polarisationsrichtungen der genannten Polarisatorelemente ist.
5. Die Vorrichtung gemäß irgendeinem vorhergehenden Anspruch, ferner umfassend eine Einrichtung (20B) zum Drehen des genannten Analysators (20) um eine Achse des genannten einfallenden Lichts, so daß eine Einhüllende des genannten Intensitätsprofils symmetrisch wird.
6. Die Vorrichtung gemäß Anspruch 1, 2 oder 3, in der der genannte Analysator (32) ein erstes und ein zweites Analysatorelement (32A, 32B), die eine erste und eine zweite Polarisationsrichtung haben, die mit den genannten Polarisationsrichtungen der genannten Polarisatorelemente jeweils übereinstimmen, und ein drittes Analysatorelement (32C) einschließt, das eine dritte Polarisationsrichtung hat, die bei  $+45^\circ$  bzw.  $-45^\circ$  zu den genannten Polarisationsrichtungen der genannten Polarisatorelemente ist.
7. Die Vorrichtung gemäß Anspruch 6, in der die genannte Bildanalysatoreinheit (24) den genannten Polarisationszustand auf der Grundlage eines Verhältnisses zwischen den Intensitäten und eines Phasenunterschiedes zwischen den Lichtbündeln bestimmt, die durch die genannten Polarisatorelemente (16A, 16B) gewonnen worden sind, wobei das Verhältnis auf der Grundlage von Ausgangssignalen der genannten Bilderfassungseinrichtung (22) in Reaktion auf Lichtbündel berechnet wird, die durch das genannte erste und das zweite Analysatorelement (32A, 32B) hindurchgehen, und wobei der Phasen-

unterschied auf der Grundlage eines Ausgangssignals der genannten Bilderfassungseinrichtung (22) in Reaktion auf ein Lichtbündel berechnet wird, das durch das genannte dritte Analysatorelement (32C) hindurchgeht.

8. Die Vorrichtung gemäß Anspruch 6 oder 7, in der das genannte erste bis dritte Analysatorelement (32A, 32B, 32C) in einer Längsrichtung der genannten zwei parallelen Schlitze des genannten Doppelschlitzelements angeordnet sind.
9. Die Vorrichtung gemäß Anspruch 6 oder 7, in der das genannte erste bis dritte Analysatorelement (32A, 32B, 32C) in einer Richtung senkrecht zu einer Längsrichtung der genannten zwei parallelen Schlitze des genannten Doppelschlitzelements angeordnet sind.
10. Die Vorrichtung gemäß irgendeinem vorhergehenden Anspruch, in der die genannte Bilderfassungseinrichtung einen eindimensionalen Bildmeßfühler (34) enthält.
11. Die Vorrichtung des Anspruches 10, wenn dieser von Anspruch 9 abhängt, in der der genannte eindimensionale Bildmeßfühler (34) in der genannten Anordnungsrichtung der genannten ersten bis dritten Analysatorelemente angeordnet ist.
12. Die Vorrichtung gemäß irgendeinem der Ansprüche 1 bis 5, in der die genannte Bilderfassungseinrichtung eine Streifenkamera (28) einschließt, die einen einfallsseitigen Schlitz (28A) hat, der sich senkrecht zu den genannten zwei parallelen Schlitzen des genannten Doppelschlitzelements (16) erstreckt.
13. Die Vorrichtung gemäß irgendeinem vorhergehenden Anspruch, ferner umfassend eine Einrichtung (19) zum Verändern eines Abstandes zwischen den genannten zwei

parallelen Schlitze des genannten Doppelschlitzelements.

14. Die Vorrichtung gemäß irgendeinem der Ansprüche 1 bis 5, in der das genannte Doppelschlitzelement ein Paar weite Schlitze (48D), die so große Weiten haben, daß eine Beugung des genannten einfallenden Lichts verhindert wird, und eine Vielzahl von Schlitzpaaren (48A, 48B, 48C) einschließt, die unterschiedliche Schlitzabstände haben, wobei das genannte Paar weiter Schlitze (48D) und die genannte Vielzahl von Schlitzpaaren (48A, 48B, 48C) in ihrer Längsrichtung angeordnet sind, und in der die genannte Bilderfassungseinrichtung (22) einen zweidimensionalen Bildmeßfühler enthält.
15. Die Vorrichtung gemäß irgendeinem der Ansprüche 1 bis 5, in der die genannte Bildanalyseinrichtung (24) den genannten Polarisationszustand auf der Grundlage eines Verhältnisses zwischen den Intensitäten und eines Phasenunterschiedes zwischen den Lichtbündeln bestimmt, die durch die Polarisatorelemente gewonnen worden sind, und in der die genannte Bildanalyseinheit (24) das genannte Intensitätsprofil fouriertransformiert und das fouriertransformierte Profil in eine niederfrequente Komponente, die Informationen über das genannte Verhältnis enthält, und eine hochfrequente Komponente trennt, die Informationen über den genannten Phasenunterschied enthält.
16. Eine Phasenplatte-Meßvorrichtung umfassend:  
eine Lichtquelleneinrichtung zum Aussenden von einfallenden Licht, das eine bekannte Polarisation hat;  
ein Young Interferometer (18), das einen Einzelschlitz (14, Figur 1) und ein Doppelschlitzelement (16, Figur 1) enthält, das parallel zu dem genannten Einzelschlitz angeordnet ist und zwei parallele Schlitze hat, die mit

jeweiligen Polarisatorelementen (16A, 16B) versehen sind, die zueinander senkrechte Polarisationsrichtungen haben;

einen Analysator (20), der stromabwärts des genannten Young Interferometers angeordnet ist;

eine Phasenplatte (50), die zwischen der genannten Lichtquelleneinrichtung und dem genannten Young Interferometer angeordnet ist;

eine Einrichtung (52) zum Drehen der genannten Phasenplatte um eine Achse des genannten einfallenden Lichts;

eine Einrichtung (58) zum Erfassen eines Drehwinkels der genannten Phasenplatte;

eine Bilderfassungseinrichtung (22) zum Erfassen eines Interferenzstreifens des genannten einfallenden Lichts, das durch die genannte Phasenplatte, das genannte Young Interferometer und den genannten Analysator hindurchgegangen ist; und

eine Bildanalysetoreinrichtung (24) zum Erzeugen eines Intensitätsprofils aus einem Ausgangssignal der genannten Bilderfassungseinrichtung und zum Bestimmen eines Phasenunterschiedes und einer Achse der genannten Phasenplatte auf der Grundlage des genannten erfaßten Drehwinkels und einer entsprechenden Verschiebung einer Spitze des genannten Intensitätsprofils.

FIG. 1

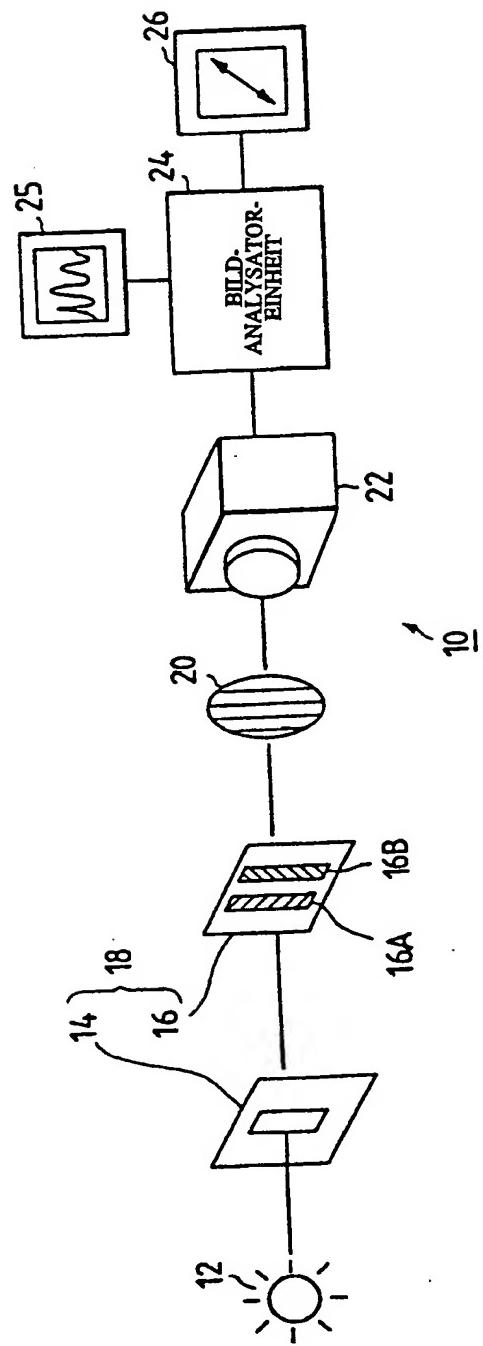


FIG. 2

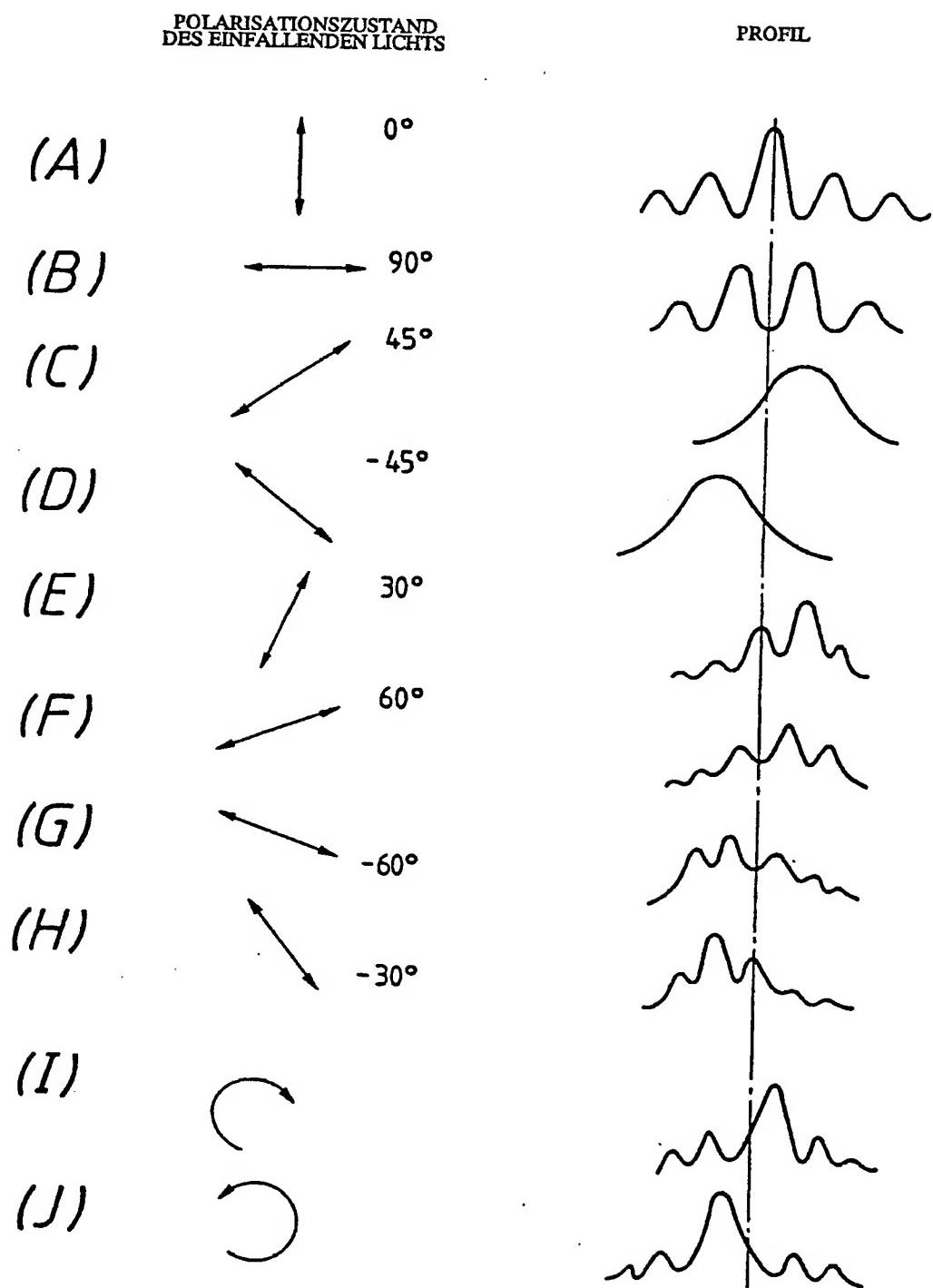


FIG. 3

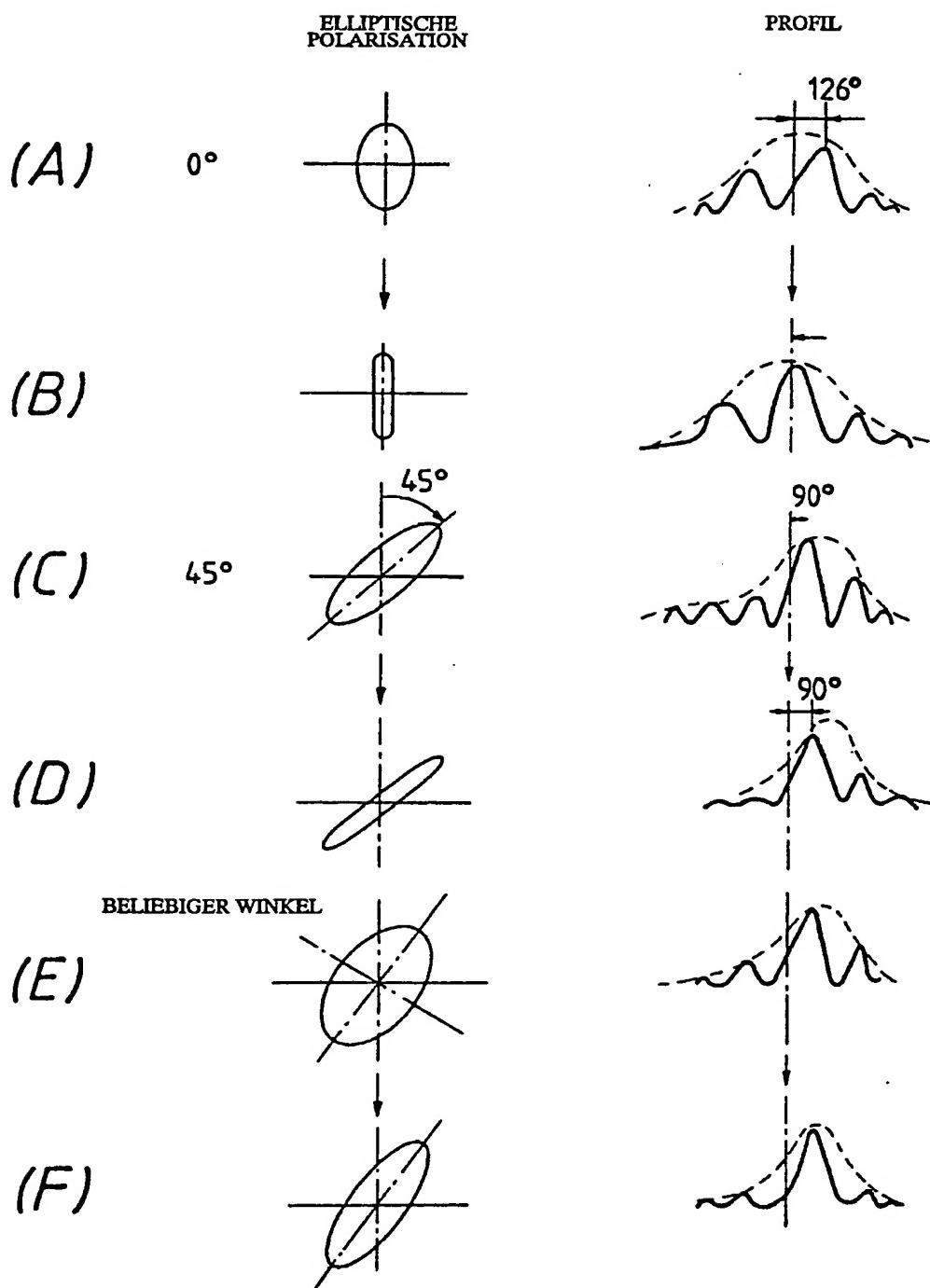


FIG. 4

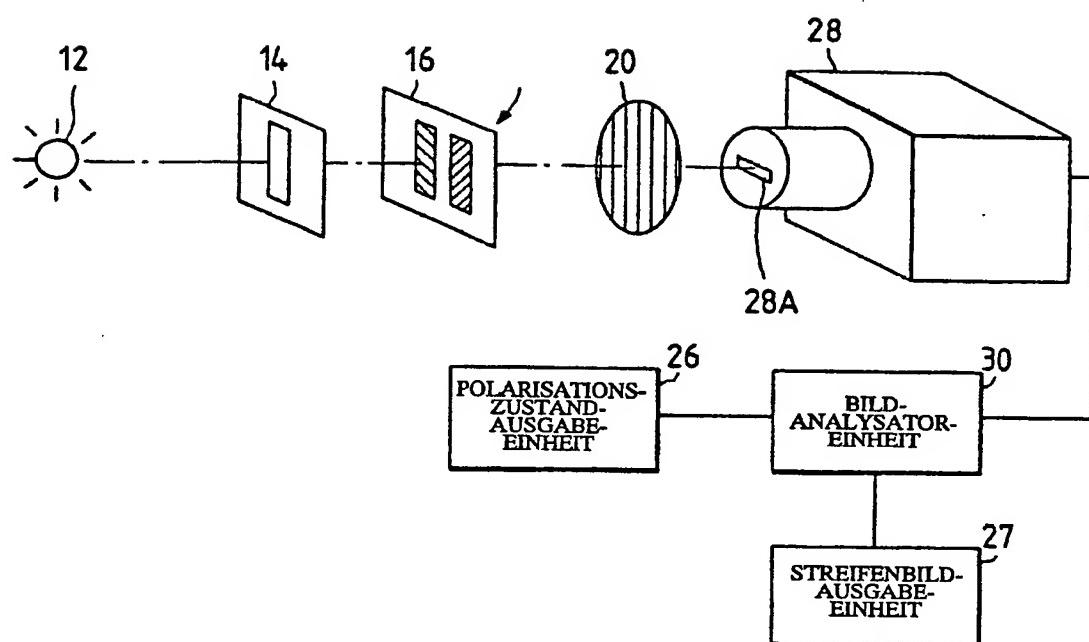


FIG. 5

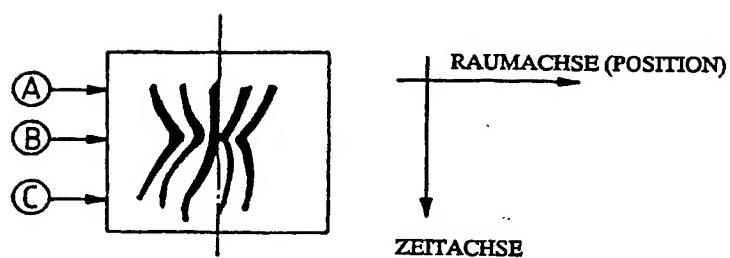


FIG. 6

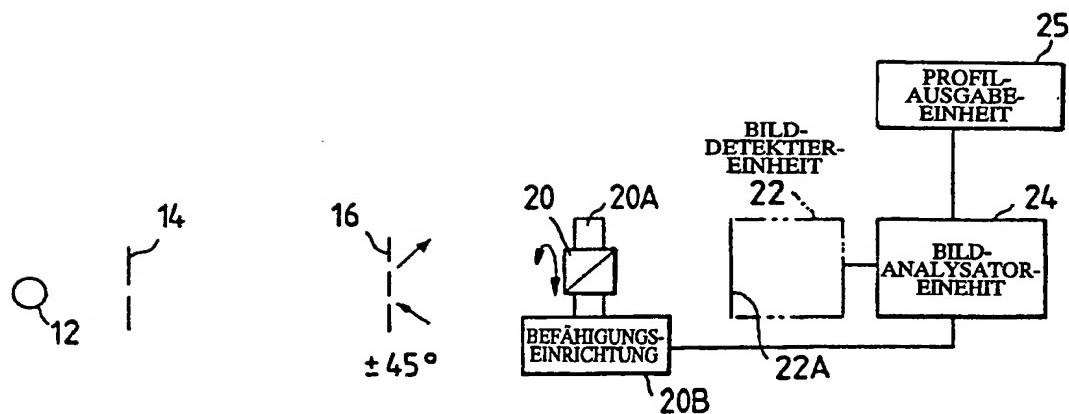


FIG. 7(A)

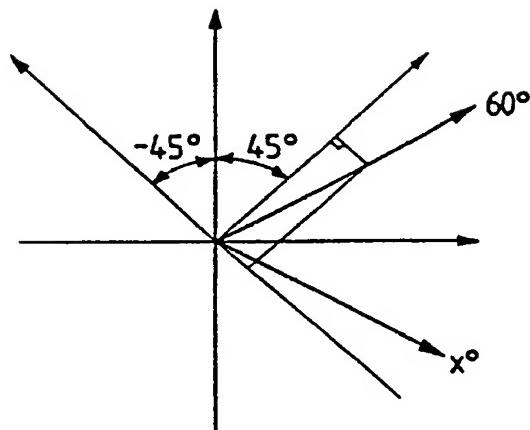


FIG. 7(B)

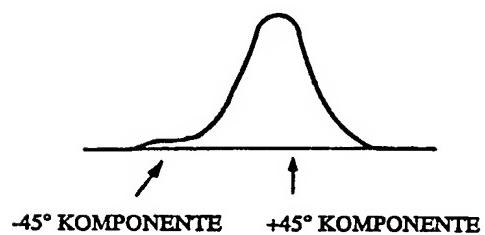


FIG. 8

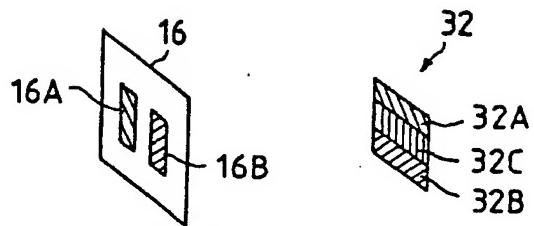


FIG. 9(A)

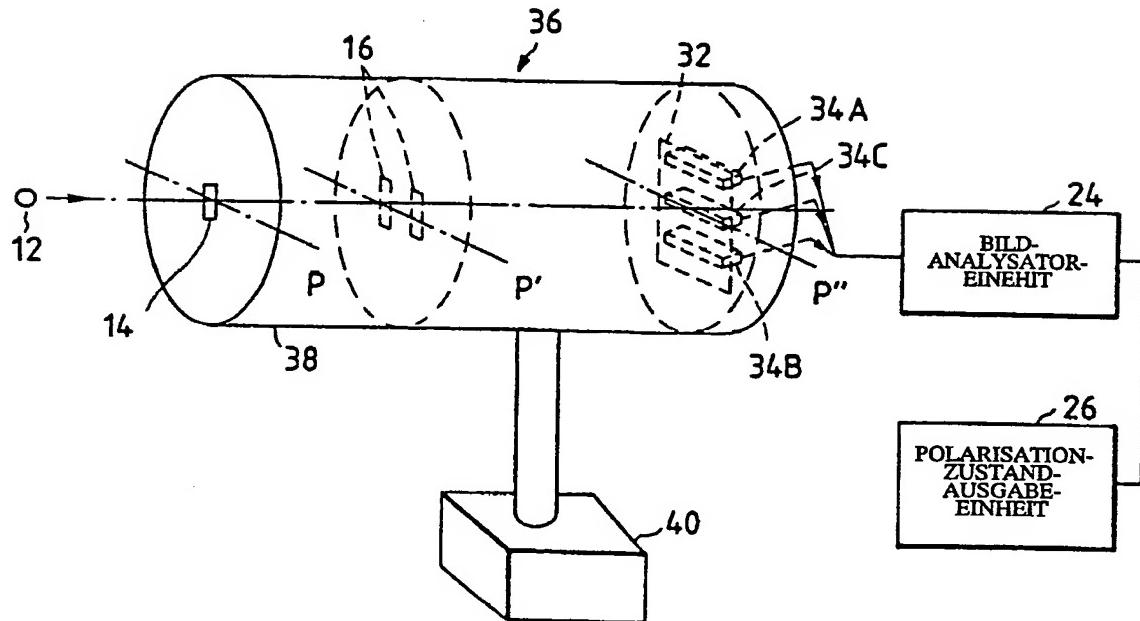
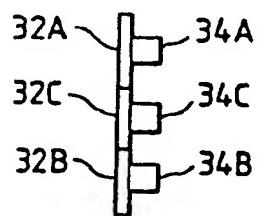


FIG. 9(B)



91 308 543.7

7/11

FIG. 10(A)

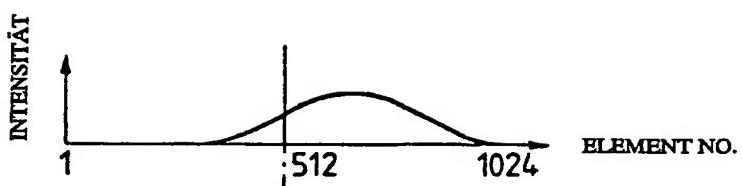


FIG. 10(B)

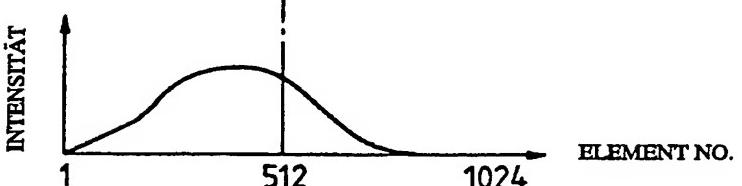


FIG. 10(C)

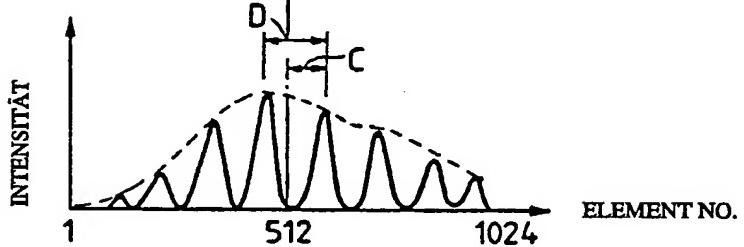


FIG. 11(A) FIG. 11(B) FIG. 11(C)

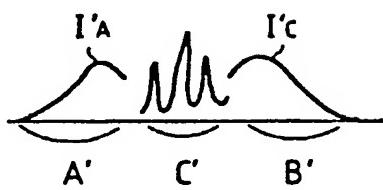
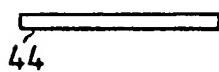
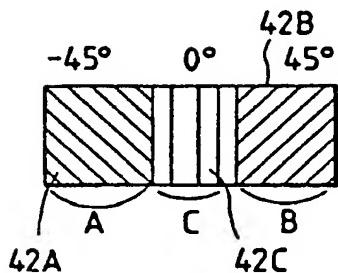


FIG. 12

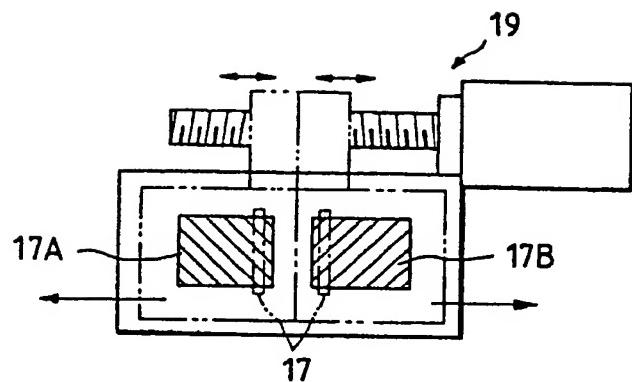


FIG. 13

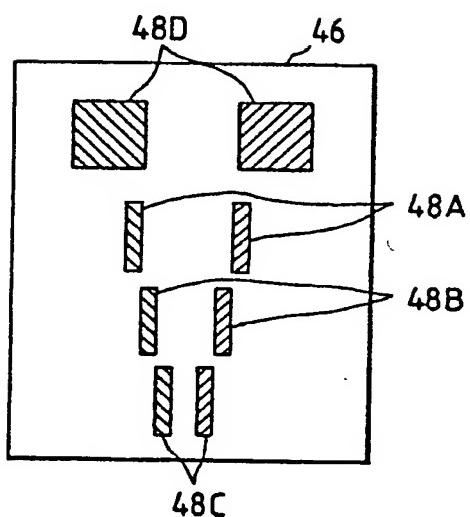


FIG. 14

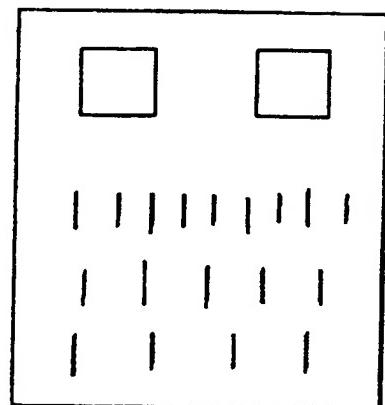


FIG. 15

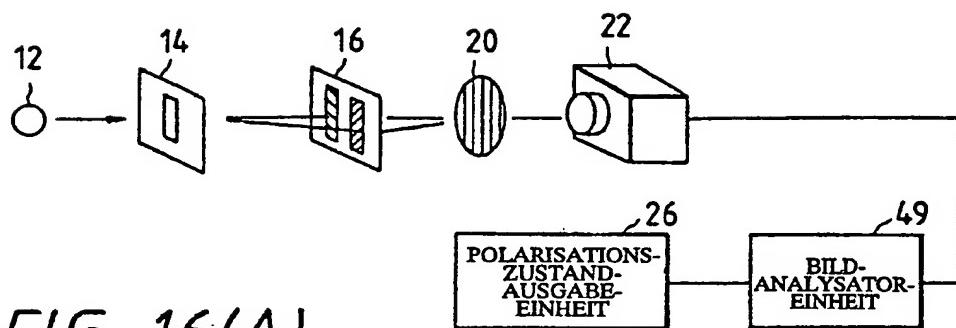


FIG. 16(A)

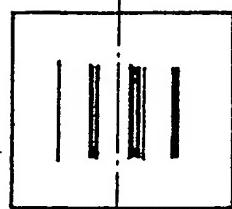


FIG. 16(B)

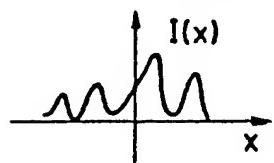


FIG. 16(C)

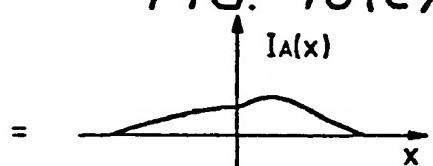


FIG. 16(D)

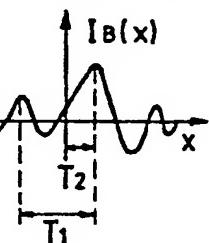


FIG. 17(A)

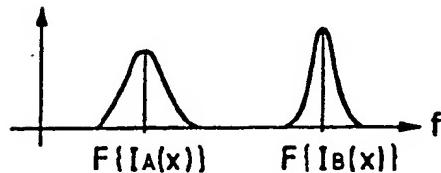


FIG. 17(B)

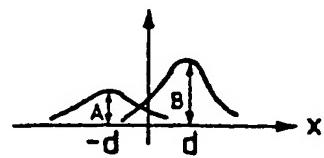


FIG. 18(A) FIG. 18(B) FIG. 18(C)

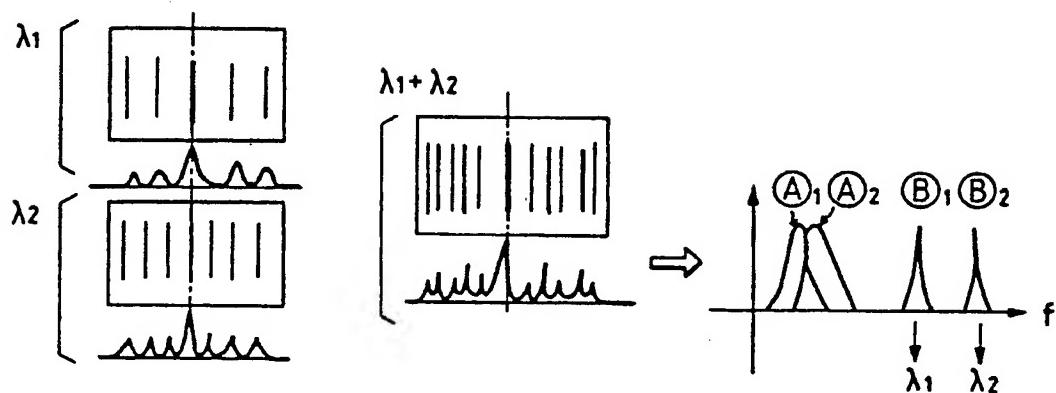
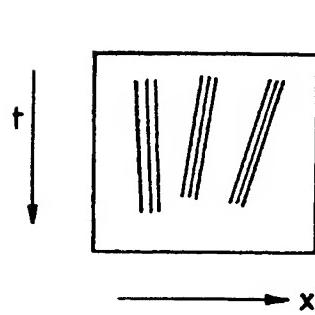


FIG. 19(A)



(FOURIER-TRANSFORMATION  
AUF X-ACHSE)

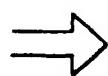


FIG. 19(B)

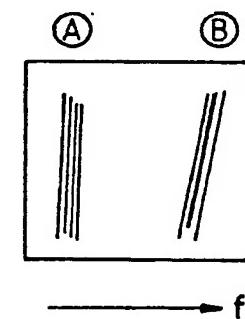
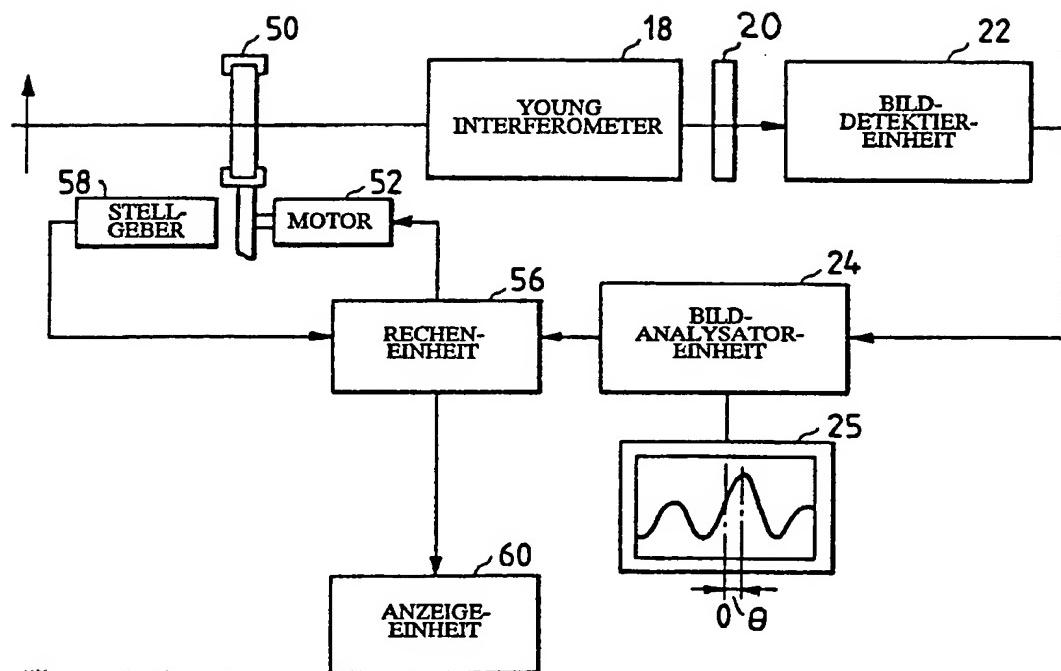


FIG. 20



DOCKET NO: P 2002, 0659

SERIAL NO: 10/637,193

APPLICANT: Henke et al.

LERNER AND GREENBERG P.A.

P.O. BOX 2480

HOLLYWOOD, FLORIDA 33022

TEL. (954) 925-1100

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**